ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, AND MANAGEMENT



УДК 007:631.4 10.23947/1992-5980-2017-17-1-113-121

Методика оценки уровня зрелости организации на основе нечеткого моделирования*

Л. В. Борисова[1], Л. А. Димитрова[2], И. Н. Нурутдинова[3]**
[1, 2, 3] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Methods of evaluating maturity level of the organization based on fuzzy modeling***

L. V. Borisova[1], L. A. Dimitrova[2], I. N. Nurutdinova[3]**
[1, 2, 3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. В статье излагается разработанная авторами методика объективной оценки уровня зрелости организации в направлении достижения устойчивого успеха на основе самооценки. Методика основана на использовании экспертной информации и математического аппарата теории нечетких множеств. Дано обоснование выбранного подхода, позволяющего оперативно анализировать состояние организации с учетом полной экспертной информации. Предлагается использовать экспертные оценки уровней зрелости по каждому направлению деятельности в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9004–2010. Приведено краткое описание содержания этапов фаззификации, композиции и дефаззификации, составляющих суть нечеткого моделирования процесса получения достоверной оценки.
Материалы и методы. В результате анализа построена обобщенная модель предметной области «оценка уровня зрелости организации», разработаны модели входных и выходной лингвистических переменных согласно наименованиям основных критериев зрелости, представленных в ГОСТ Р ИСО 9004–2010, определены базовые терм-множества. Согласно оценкам четырех экспертов построены функции принадлежности всех лингвистических переменных, для чего использованы типовые функции трапециевидной формы. Приведена развернутая форма нечеткого логического вывода для рассматриваемой системы знаний. С учетом рассчитанных коэффициентов значимости основных критериев зрелости создана база знаний, содержащая 729 продукционных правил, на которой основан логический вывод оценки уровня зрелости организации.
Результаты исследования. Для вычисления точного значения уровня зрелости используется метод центра тяжести, который реализуется в среде *MatLab* с помощью пакета прикладных программ *Fuzzy Logic Toolbox*. Построены поверхности отклика, отражающие взаимосвязи лингвистических переменных. Приведен модельный пример нечеткого логического вывода оценки уровня зрелости организации с использованием предложенной методики.

Introduction. The authors' method of the objective evaluation of the maturity level of the organization for obtaining sustainable success on the basis of self-assessment is described. The technique is based on the use of expert information and mathematical apparatus of the fuzzy sets theory. The substantiation of the chosen approach is presented. It allows promptly analyze the organization state and apply full expert information. It is proposed to use expert assessments of maturity levels for each of the activities according to GOST R ISO 9004–2010. A brief description of the fuzzification stages content, composition and defuzzification which are the essence of the fuzzy modeling process to obtain reliable estimates is given.
Materials and Methods. As follows from the analysis, a generalized model of the "evaluation of the maturity level of the organization" domain is developed. The input and output linguistic variables corresponding to the maturity main criteria in accordance with GOST R ISO 9004–2010 are simulated; and the base term sets are defined. Membership functions of all the linguistic variables are developed according to the estimates of four experts for which purpose the typical trapezoidal functions are used. An expanded form of the fuzzy logic inference for the considered system of knowledge is presented. Taking into account the calculated significance coefficients of the basic maturity criteria, a knowledge base is created. It includes 729 production rules and serves as a basis for the logical deduction of the evaluation of the organization maturity level.
Research Results. The barycenter method is used to calculate the precise value of the maturity level. It is implemented in *Matlab* with the help of *Fuzzy Logic Toolbox* application package. Response surfaces showing the relationship of the linguistic variables are constructed. The fuzzy inference of the evaluation of the organization maturity level using the proposed techniques is exemplified.

*Работа выполнена по договору № 169 от 24.06.2016 г.
**E-mail: borisovalv09@mail.ru, kaf-qm@donstu.ru, nurut.inna@yandex.ru
***The research is done within the frame of Contract no. 169 of 24.06.2016.

Обсуждение и заключения. Представленная методика, использующая математический аппарат теории нечетких множеств, позволяет объективно оценить уровень зрелости организации с точки зрения достижения устойчивого успеха и предназначена для оперативного анализа состояния организации на основе выполненной экспертами самооценки.

Discussion and Conclusions. The presented methodology using a mathematical apparatus of the fuzzy sets theory allows an objective estimation of the organization maturity level for sustained success. It is designed for prompt analysis of the organization on the basis of the self-assessment performed by experts.

Ключевые слова: экспертная система, нечеткий логический вывод, лингвистическая переменная, функция принадлежности, дефаззификация.

Keywords: expert system, fuzzy inference, linguistic variable, membership function, defuzzification.
.

Введение. Одной из стратегических задач организации или предприятия является оценка перспектив достижения устойчивого успеха. Эта проблема приобретает особую актуальность в сложной, меняющейся обстановке. Успешность организации предполагает оптимальное соотношение высоких показателей удовлетворенности всех заинтересованных сторон: потребителей, владельцев, акционеров, поставщиков, партнеров и общества. Определение состояния организации требует постоянного мониторинга уровня зрелости с точки зрения достижения устойчивого успеха, для чего используется самооценка. В методике самооценки по каждому направлению деятельности предусмотрено 5 уровней зрелости в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 9004–2010 [1].

Согласно [1] приняты 6 основных групп критериев, способных помочь организации решить внутренние проблемы:

1) менеджмент для достижения устойчивого успеха организации (МДУУО, п. 4),
2) стратегия и политика (СП, п. 5),
3) менеджмент ресурсов (МР, п. 6),
4) менеджмент процессов (МП, п. 7),
5) мониторинг, измерение, анализ и изучение (МИАИ, п. 8),
6) улучшения, инновации и обучение (УИО, п. 9).

Установление уровня зрелости по каждому направлению позволяет выявить сильные и слабые стороны. Для определения приоритетов деятельности и корректировки стратегии развития важно также определить уровень зрелости организации в целом, что не регламентировано стандартом ГОСТ Р ИСО 9004–2010. В настоящей работе предложена методика по определению уровня зрелости организации в целом в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 9004–2010.

Выбор метода для решения поставленной задачи оценки уровня зрелости обусловлен спецификой оценок, которые устанавливаются экспертами, и особенностями самих оцениваемых параметров. Очевидно, что представление о принадлежности значения критерия к тому или иному уровню содержат элемент субъективности. Ряд характеристик сложно измерить количественно, поэтому предполагается оценка качественных характеристик баллами. В случаях, когда качественные и количественные оценки неоднозначны, для принятия решений используются экспертные системы как в технических задачах принятия решений [2–5], так и для получения оценок в гуманитарных областях [6–8]. Для определения уровня зрелости организации нами предложено [9, 10] использование оценок экспертов и создание экспертной системы, механизм вывода решений которой основан на нечетком логическом выводе [11, 12].

Методика нечеткого моделирования процесса получения достоверной оценки, основанная на использовании аппарата нечетких множеств, реализуется в три этапа: фаззификации, композиции и дефаззификации [2, 3, 13]. На этапе фаззификации условия задачи представляются в лингвистической форме. На этапе композиции все нечеткие множества, назначенные для каждого терма каждой входной лингвистической переменной, объединяются, и формируется единственное нечеткое множество — значение для выводимой лингвистической переменной. В результате использования набора правил (нечеткой базы знаний) вычисляется значение истинности для предпосылки каждого правила на основании конкретных нечетких операций, соответствующих конъюнкции или дизъюнкции термов в левой части правил. Этап дефаззификации заключается в получении на основе нечеткого логического вывода конкретной оценки.

Приведем методику решения задачи оценки уровня зрелости на основе нечеткого логического моделирования.

Описание предметной области. Рассмотрим задачу, в которой эксперт делает вывод о результирующей оценке (B_j) (об уровне зрелости организации) в зависимости от возможных значений входной информации (A_j). Обозначим через $\{X\}$ множество значений входных признаков, т. е. совокупность оценок основных критериев, определяющих величину выходной оценки V (уровня зрелости). Для реализации поставленной задачи необходимо решить вопросы моделирования экспертной информации об отношениях рассматриваемых признаков, а также о процедурах принятия решений.

В соответствии с логико-лингвистическим подходом [9, 10] авторы представленного исследования разработали модели входных и выходного признаков X, V в виде семантических пространств и соответствующих им функций принадлежности (ФП):

$$\{X_i, T(X_i), U, G, M\}, \qquad \mu_R(x_1, x_2, \ldots, x_i,) \in (0; 1),$$
$$\{\beta_V, T_V, V, G_V, M_V\}, \qquad \mu_R(v_1, v_2, \ldots, v_j,) \in (0; 1).$$

В результате анализа рассматривается обобщенная модель предметной области «оценка уровня зрелости организации» в виде композиции нечетких отношений рассматриваемых семантических пространств:

$$R = X \to V.$$

Здесь R — нечеткое отношение между группами критериев и результативным признаком:

$$R\{X_i, T(X_i), U, G, M\} \times \langle \beta_V, T_V, V, G_V, M_V \rangle \ \forall (x, v) \in X \times V.$$

Отношение R принимается как нечеткое множество на прямом произведении $X \times V$ полного пространства предпосылок X и полного пространства заключений V.

В результате фаззификации исследуемых признаков в [14] построены ФП входных лингвистических переменных (ЛП) согласно наименованиям основных критериев зрелости, представленных в [1]. Рассматривались нормальные нечеткие множества, для которых высота равна 1, т. е. верхняя граница функции принадлежности равна 1 ($\sup\limits_{x \in E} \mu_A(x) = 1$). Определены следующие термы входных ЛП — критериев зрелости:

— низкий (соответствует 1-му и 2-му уровням),
— средний (соответствует 3-му уровню),
— высокий (соответствует 4-му и 5-му уровням).

Далее в [14] проведен анализ согласованности экспертной информации в соответствии с методикой [15–19], установлена достаточная степень согласованности и построены обобщенные ФП входных ЛП.

Определим выходную ЛП «уровень зрелости организации» (УЗО).

Кортеж ЛП УЗО имеет вид:

<УЗО, % {1-й уровень, 2-й уровень, 3-й уровень, 4-й уровень, 5-й уровень}, [0–100], >.

Выбор для входных ЛП 3-термовой модели (m = 3), а для выходной ЛП — 5-термовой модели (m = 5) направлен на то, чтобы облегчить экспертам задачу оценки и сохранить соответствие ГОСТ Р ИСО 9004–2010.

На рис. 1 приведены графики ФП входной ЛП — «менеджмент процессов» (*а*) и выходной ЛП — «уровень зрелости организации» (*б*).

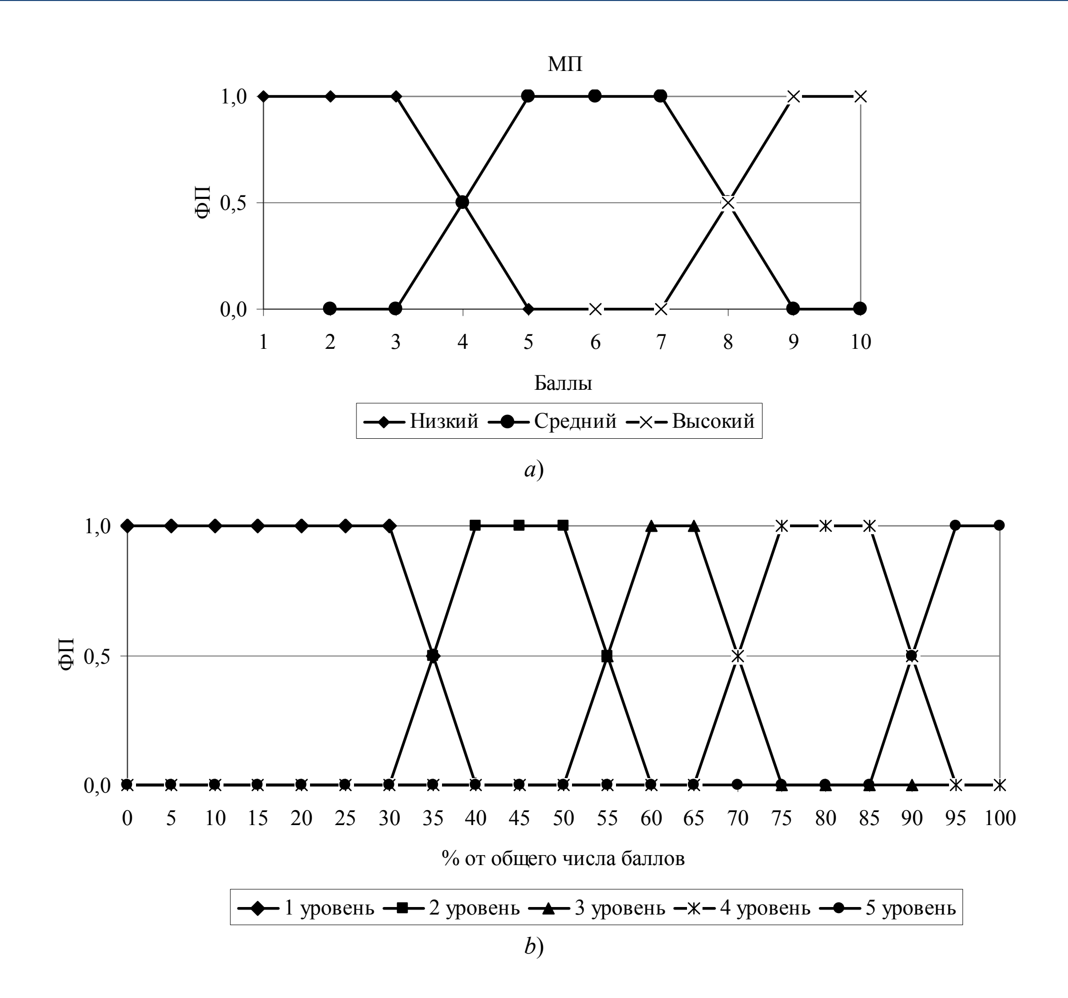


Рис. 1. Вид ФП: входной ЛП МП (*a*); выходной ЛП УЗО (*b*)

Fig. 1. Membership function (MF) formula: input linguistic variable of process management (LV PM) *(a)*; output LV of organization maturity level (LV OML) *(b)*

Значения коэффициентов *a*, *b*, *c*, *d* ФП для входных ЛП приведены в табл. 1, а для выходной ЛП — в табл. 2.

Таблица 1
Table 1

Значения коэффициентов *a*, *b*, *c*, *d* обобщенных ФП входных ЛП
Values of coefficients *a, b, c, d* of generalized MF of input LV

Вид терма	Значения коэффициентов ФП					
	МДУУО	СП	МР	МП	МИАИ	УИО
Левый	$a = 6$ $b = 9$	$a = 4$ $b = 7$	$a = 12$ $b = 18$	$a = 3$ $b = 5$	$a = 10$ $b = 14$	$a = 5$ $b = 7$
Центральный	$a = 6$ $b = 17$ $c = 10$ $d = 12$	$a = 4$ $b = 12$ $c = 7$ $d = 9$	$a = 12$ $b = 32$ $c = 18$ $d = 26$	$a = 3$ $b = 9$ $c = 5$ $d = 7$	$a = 10$ $b = 26$ $c = 14$ $d = 21$	$a = 5$ $b = 12$ $c = 7$ $d = 9$
Правый	$a = 12$ $b = 17$	$a = 9$ $b = 12$	$a = 26$ $b = 32$	$a = 7$ $b = 9$	$a = 21$ $b = 26$	$a = 9$ $b = 12$

Таблица 2
Table 2

Значения коэффициентов *a*, *b*, *c*, *d* обобщенной ФП выходной ЛП
Values of coefficients *a, b, c, d* of generalized MF of output LV

Вид терма	Значения коэффициентов		
Левый	$a = 30$, $b = 40$		
Центральный	$a = 30$, $b = 60$ $c = 40$, $d = 50$	$a = 50$, $b = 75$ $c = 60$, $d = 65$	$a = 65$, $b = 95$ $c = 75$, $d = 85$
Правый	$a = 85$, $b = 95$		

В табл. 1 и 2 коэффициенты *a*, *b*, *c*, *d* есть коэффициенты типовых линейных и трапециевидных функций [15].

Моделирование вывода решения. При заданной системе логических высказываний для значений входных признаков значениями выходного параметра *V* является такое множество $V_0^{(1)}$, для каждого элемента которого $v \in V_0^{(1)}$ схема вывода

$$\frac{\tilde{L}^{(1)}, \quad A' \text{ — истинно},}{B' \text{ — истинно}} \tag{1}$$

имеет наибольшую степень истинности $\mu_{mp}^{(1)}$ нечеткого правила *modus ponens*, определяемую выражением [20]:

$$\mu_{mp}^{(1)}(1) = \min\{1, [1-\mu_{W_1}(w') + \mu_{V_1}(v')], \ldots, [1-\mu_{W_m}(w') + \mu_{V_m}(v')]\}.$$

Величина $\mu_{mp}^{(1)}(1)$ является степенью истинности правила *modus ponens* для нечеткой системы экспертных высказываний. Данное понятие отражает степень соответствия значения v' выходного параметра *V* значению w' обобщенного входного параметра *W* при задании экспертной информации нечеткой системой (2).

Обозначим через $\tilde{A}_j$ и $\tilde{B}_j$ высказывания <β_W есть α_{Wj}> и <β_V есть α_{Vj}>, где α_{Vj} — соответствующие значения термов выходной ЛП. Тогда система нечетких высказываний запишется в виде [20]:

$$\tilde{L}^{(1)} = \begin{cases} \tilde{L}_1^{(1)} : & < \text{если} \quad \tilde{A}_1, \quad \text{то} \quad \tilde{B}_1 >, \\ \tilde{L}_2^{(1)} : & < \text{если} \quad \tilde{A}_2, \quad \text{то} \quad \tilde{B}_2 >, \\ \ldots & \\ \tilde{L}_m^{(1)} : & < \text{если} \quad \tilde{A}_m, \quad \text{то} \quad \tilde{B}_m >. \end{cases} \tag{2}$$

В основе механизма вывода решений лежит модель данной предметной области, представляющая собой композицию нечетких отношений семантических пространств входных и выходного параметров. Развернутая форма нечеткого логического вывода для системы знаний вида (2) может быть представлена так:

$$\mu_{B'} = \vee_{k \in K} \left(\wedge_{j \in J} \mu_{Bkj} y_j \right) \wedge \wedge_{i \in I} \mu_{Aki}(x_i')).$$

В результате анализа предметной области получены коэффициенты значимости шести критериев (табл. 3) и создана база знаний, на которой основан логический вывод решения.

Таблица 3
Table 3

Значения коэффициентов значимости для входных ЛП

Values of significance coefficients for input LV

Значения коэффициентов значимости для входных ЛП					
МДУУО	СП	МР	МП	МИАИ	УИО
0, 166	0, 155	0, 158	0, 2	0, 155	0, 166

База знаний для оценки уровня зрелости организации содержит 729 правил. Для иллюстрации приведем несколько.

4. ЕСЛИ <МДУУО есть «уровень низкий», и СП есть «уровень низкий», и МР есть «уровень низкий», и МП есть «уровень низкий», и МИАИ есть «уровень средний», и УИО есть «уровень низкий»> ТО < УЗО есть уровень 1 >.

40. ЕСЛИ < МДУУО есть «уровень низкий», и СП есть «уровень низкий», и МР есть «уровень средний», и МП есть «уровень средний», и МИАИ есть «уровень средний», и УИО есть «уровень низкий»> ТО < УЗО есть уровень 2 >.

365. ЕСЛИ < МДУУО есть «уровень средний», и СП есть «уровень средний», и МР есть «уровень средний», и МП есть «уровень средний», и МИАИ есть «уровень средний», и УИО есть «уровень средний»> ТО < УЗО есть уровень 3 >.

Результаты моделирования. На этапе дефаззификации вычисляются точные значения выходной ЛП. Для этих вычислений используют, например, метод центра тяжести [5]. Такой метод реализуется в среде *MatLab* с помощью пакета прикладных программ *Fuzzy Logic Toolbox* или с помощью приближенной методики [21], имеющей достаточно высокую точность. Для нечеткого логического вывода в рамках данной работы использовалась среда *MatLab*, в частности пакет прикладных программ *Fuzzy Logic Toolbox* [22].

Нечеткий вывод является применением максиминной композиции в качестве композиционного правила нечеткого вывода и операции взятия минимума в качестве нечеткой импликации. На рис. 2 приведены поверхности «входы — выход», соответствующие синтезированной нечеткой системе продукционных правил. При построении входные переменные выбраны попарно, а остальные зафиксированы на средних уровнях.

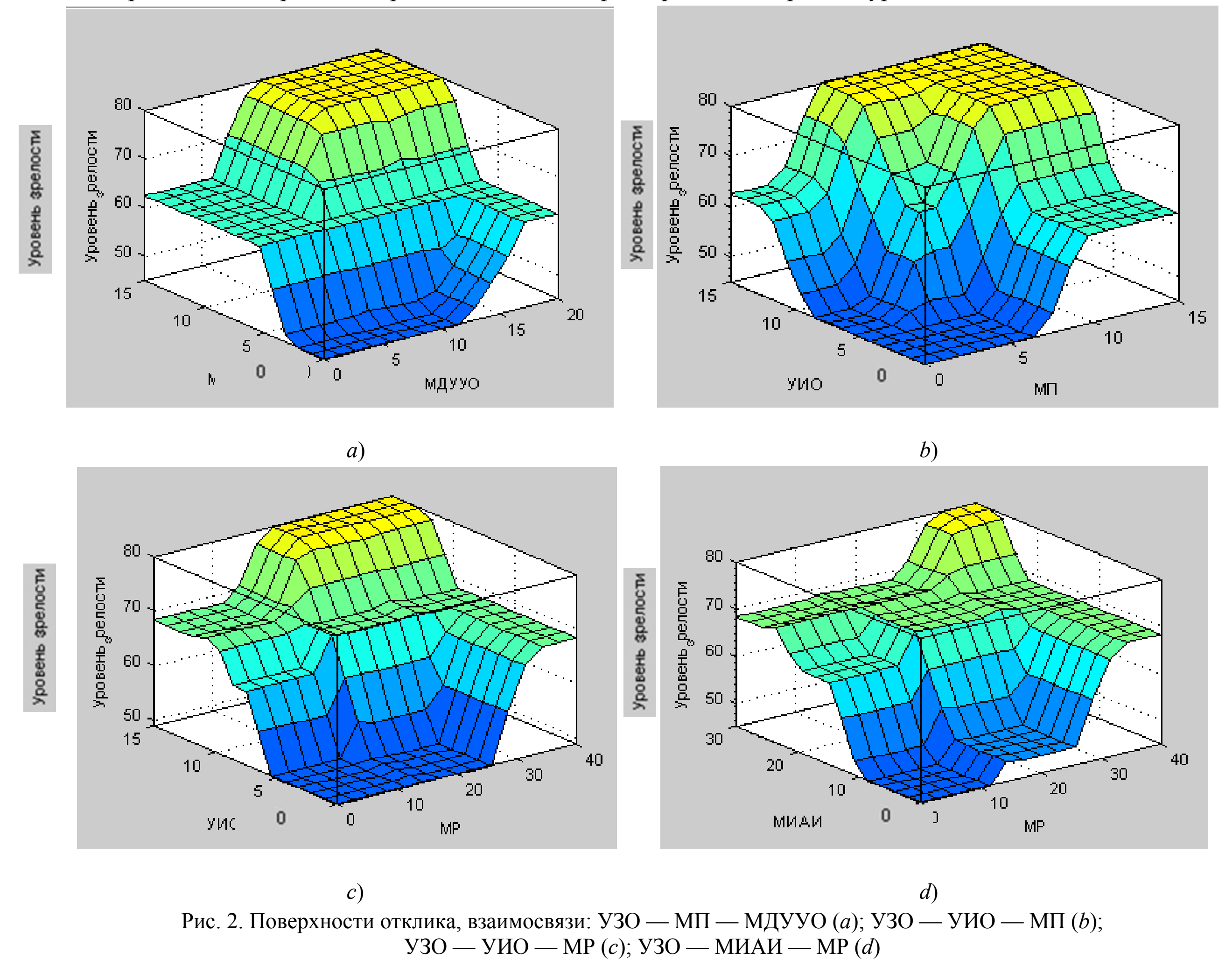


Рис. 2. Поверхности отклика, взаимосвязи: УЗО — МП — МДУУО (*a*); УЗО — УИО — МП (*b*); УЗО — УИО — МР (*c*); УЗО — МИАИ — МР (*d*)

Fig. 2. Response surfaces, relationship: OML - PM – MOOSS (management for obtaining organization sustained success) (a); OML – IIT (improvement, innovations, training) - PM (b); OML - IIT - PM (c); OML – MMAS (monitoring, measurement, analysis, study) – RM (resources management) (d)

Для вычисления точного значения уровня зрелости были использованы следующие значения: МДУУО = 10, СП = 10, МР = 20, МП = 10, МИАИ = 15, УИО = 10. В результате получена оценка уровня зрелости организации 80 %, что соответствует 4-му уровню зрелости организации по ГОСТ Р ИСО 9004–2010.

Выводы. Приведена методика получения объективной оценки зрелости организации с точки зрения достижения устойчивого успеха, основанная на применении математического аппарата теории нечетких множеств. Изучена предметная область и дано ее формализованное описание, введены лингвистические переменные в соответствии с критериями ГОСТ Р ИСО 9004–2010, определены базовые терм-множества, построены их функции принадлежности. Создана база знаний, на которой основывается нечеткий логический вывод оценки уровня зрелости организации. Проиллюстрирован этап дефаззификации в среде *MatLab* с помощью пакета прикладных программ *Fuzzy Logic Toolbox*. Приведен вывод точного значения уровня зрелости для конкретных оценок критериев. Предложенная методика предназначена для оперативного анализа состояния организации на основе имеющейся самооценки, выполненной экспертами.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9004–2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2011. — 36 с.

2. Димитров, В. П. Об организации технического обслуживания машин с использованием экспертных систем / В. П. Димитров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2003. — Т. 3, № 1. — С. 62–69.

3. Тугенгольд, А. К. К вопросу построения нечеткой экспертной системы продукционного типа для технологической регулировки машин / А. К. Тугенгольд, В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 8, № 3 (38). — С. 419–426.

4. Димитров, В. П. Совершенствование методов технического обслуживания зерноуборочной техники на основе экспертных систем : дис. … д-ра техн. наук / В. П. Димитров. — Ростов-на-Дону, 2002. — 300 с.

5. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И. М. Макаров [и др.]. — Москва : Наука, 2006. — 333 с.

6. Hrehova, S. Application of fuzzy principles in evaluating quality of manufacturing process / S. Hrehova, A. Vagaska // WSEAS Transactions on Power Systems. — 2012. — Vol. 7. — P. 50–59.

7. Особенности экспертного контроля качества в сфере обслуживания / Л. В. Борисова [и др.] // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. — 2014. — С. 110–113.

8. О подходе к экспертной оценке качества знаний / Н. Н. Шумская [и др.] // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 8-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 18-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2015». — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 321–324.

9. Димитров, В. П. Оценка согласованности экспертных знаний в задаче определения уровня зрелости организации / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова // Современные тенденции развития науки и технологий. — 2016. — № 1–11. — С. 52–54.

10. О подходе к оценке уровня зрелости организации с использованием теории нечетких множеств / Н. Н. Шумская [и др.] // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 9-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 19-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2016». — Ростов-на-Дону, 2016. — С. 364–366.

11. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин [и др.] ; под ред. Д. А. Поспелова. — Москва : Наука, 1986. — 312 с.

12. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А. Н. Борисов [и др.]. — Москва : Радио и связь, 1989. — 394 с.

13. Zadeh, L.-A. Knowledge representation in fuzzy logic / L.-A. Zadeh // An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. — New York : Springer, 1992. — Vol. 165. — P. 1–27.

14. Борисова, Л. В. Информационная поддержка мониторинга состояния организации / Л. В. Борисова, Л. А. Димитрова, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т. 16, № 4. — С. 93–102.

15. Борисова, Л. В. Особенности формализации знаний при логико-лингвистическом описании сложных технических систем / Л. В. Борисова, В. П. Димитров. — Ростов-на-Дону : РГАСХМ, 2006. — 207 с.

16. Димитров, В. П. Методика оценки согласованности моделей нечетких экспертных знаний / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 2 (45). — С. 205–216.

17. Борисова, Л. В. О методике представления нечетких экспертных знаний / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2014. — Т. 14, № 4 (79). — С. 93–102.

18. Димитров, В. П. О методике фаззификации нечеткой экспертной информации / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 11, № 1–2 (62). — С. 46–50.

19. Программная система для ввода экспертных знаний / В. П. Димитров [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 1 (52). — С. 83–90.

20. Димитров, В. П. Теоретические и прикладные аспекты разработки экспертных систем для технического обслуживания машин / В. П. Димитров, Л. В. Борисова. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2007. — 202 с.

21. Димитров, В. П. О методике дефаззификации нечеткой экспертной информации / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 6 (49). — С. 868–878.

22. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATHLAB / С. Д. Штовба. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с.

References

1. GOST R ISO 9004–2010. Menedzhment dlya dostizheniya ustoychivogo uspekha organizatsii. [GOST R ISO 9004–2010. Managing for the sustained success of an organization. A quality management approach.] Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Moscow: Standartinform, 2011, 36 p. (in Russian).

2. Dimitrov, V.P. В. П. Ob organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin s ispol'zovaniem ekspertnykh system. [On machine maintenance organization with the use of expert systems.] Vestnik of DSTU, 2003, vol. 3, no. 1, pp. 62–69 (in Russian).

3. Tugengold, A.K., Dimitrov, V.P., Borisova, L.V. K voprosu postroeniya nechetkoy ekspertnoy sistemy produktsionnogo tipa dlya tekhnologicheskoy regulirovki mashin. [To the question of fuzzy expert system constructing production type for technological adjustment of machines.] Vestnik of DSTU, 2008, vol. 8, no. 3 (38), pp. 419–426 (in Russian).

4. Dimitrov, V.P. Sovershenstvovanie metodov tekhnicheskogo obsluzhivaniya zernouborochnoy tekhniki na osnove ekspertnykh sistem : dis. … d-ra tekhn. nauk. [Improving maintenance methods of harvesters based on expert systems: Dr.Sci. (Eng.) diss.] Rostov-on-Don, 2002, 300 p. (in Russian).

5. Makarov, I.M., et al. Iskusstvennyy intellekt i intellektual'nye sistemy upravleniya. [Artificial intelligence and intelligent control systems.]. Moscow: Nauka, 2006, 333 p. (in Russian).

6. Hrehova, S.,Vagaska, A. Application of fuzzy principles in evaluating quality of manufacturing process . WSEAS Transactions on Power Systems, 2012, vol. 7, pp. 50–59.

7. Borisova, L.V. et al. Osobennosti ekspertnogo kontrolya kachestva v sfere obsluzhivaniya. [Features of export quality control in the service sector.] Kachestvo produktsii: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie : sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Quality of products: control, management, improvement, planning: Coll. sci. papers Int. Sci.-Pract. Conf.] 2014, pp. 110–113 (in Russian).

8. Shumskaya, N.N., et al. O podkhode k ekspertnoy otsenke kachestva znaniy. [On approach to the expert assessment of the knowledge quality.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 8-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 18-y mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2015». [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 8th Int. Sci.-Pract. Conf. within the framework of 18th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2015”.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 321–324 (in Russian).

9. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V., Nurutdinova, I.N. Otsenka soglasovannosti ekspertnykh znaniy v zadache opredeleniya urovnya zrelosti organizatsii. [Assessment of coherence of expertise in problem of determining organization maturity level.] Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy, 2016, no. 1–11, pp. 52–54 (in Russian).

10. Shumskaya, N.N., et al. O podkhode k otsenke urovnya zrelosti organizatsii s ispol'zovaniem teorii nechetkikh mnozhestv. [On approach to assessment of organization maturity level using fuzzy set theory.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 9-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 19-y mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2015». [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 9th Int. Sci.-Pract. Conf. within the framework of 19th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2015”.] Rostov-on-Don, 2016. — C. 364–366 (in Russian).

11. Averkin, A.N., et al. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta. [Fuzzy sets in models of control and artificial intelligence.] Pospelov, D.A., ed. Moscow: Nauka, 1986, 312 p. (in Russian).

12. Borisov, A.N., et al. Obrabotka nechetkoy informatsii v sistemakh prinyatiya resheniy. [Fuzzy information processing in the decision-making systems.] Moscow: Radio i svyaz', 1989, 394 p. (in Russian).

13. Zadeh, L.-A. Knowledge representation in fuzzy logic. An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. New York: Springer, 1992, vol. 165, pp. 1–27.

14. Borisova, L.V., Dimitrova, L.A., Nurutdinova, I.N. Informatsionnaya podderzhka monitoringa sostoyaniya organizatsii. [Information support for monitoring of the organization state.] Vestnik of DSTU, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 93–102 (in Russian).

15. Borisova, L.V., Dimitrov, V.P. Osobennosti formalizatsii znaniy pri logiko-lingvisticheskom opisanii slozhnykh tekhnicheskikh system. [Knowledge formalization features in logical-linguistic description of complex technical systems.] Rostov-on-Don: RGASKhM, 2006, 207 p. (in Russian).

16. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V., Nurutdinova, I.N. Metodika otsenki soglasovannosti modeley nechetkikh ekspertnykh znaniy. [Methods for estimating coordination of fuzzy expert knowledge models.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 2 (45), pp. 205–216 (in Russian).

17. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V., Nurutdinova, I.N. O metodike predstavleniya nechetkikh ekspertnykh znaniy. [On method of representation of fuzzy expertise.] Vestnik of DSTU, 2014, vol. 14, no. 4 (79), pp. 93–102 (in Russian).

18. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V., Nurutdinova, I.N. O metodike fazzifikatsii nechetkoy ekspertnoy informatsii. [On expert information fuzzification method.] Vestnik of DSTU, 2012, vol. 11, no. 1, iss. 2 (62), pp. 46–50 (in Russian).

19. Dimitrov, V.P., et al. Programmnaya sistema dlya vvoda ekspertnykh znaniy. [Programmed system for input of expert knowledge.] Vestnik of DSTU, 2011, vol. 11, no. 1 (52), pp. 83–90 (in Russian).

20. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V. Teoreticheskie i prikladnye aspekty razrabotki ekspertnykh sistem dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin. [Theoretical and applied aspects of the development of expert systems for maintenance of machinery.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2007, 202 p. (in Russian).

21. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V., Nurutdinova, I.N. O metodike defazzifikatsii nechetkoy ekspertnoy informatsii. [On defuzzification method in fuzzy expert information processing.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 6 (49), pp. 868–878 (in Russian).

22. Shtovba, S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATHLAB. [Designing fuzzy systems by MATLAB tools.] Moscow: Hot Line Telecom, 2007, 288 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 10.10.2016
Сдана в редакцию 10.10.2016
Запланирована в номер 11.01.2017

Received 10.10.2016
Submitted 10.10.2016
Scheduled in the issue 11.01.2017

Об авторах:

Борисова Людмила Викторовна, заведующая кафедрой «Менеджмент и бизнес-процессы» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0001-6611-4594, borisovalv09@mail.ru

Димитрова Любовь Азатовна, младший научный сотрудник кафедры «Управление качеством» Донского государственного технического университета, (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5196-5975, kaf-qm@donstu.ru

Нурутдинова Инна Николаевна, доцент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета, (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1), кандидат физико-математических наук, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3375-1295, nurut.inna@yandex.ru

Authors:

Borisova Lyudmila Viktorovna, head of the Management and Business Processes Department, Don State Technical University (RF, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Dr. Sci. (Eng.), professor, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6611-4594, borisovalv09@mail.ru

Dimitrova Lyubov Azatovna, junior research scholar of the Quality Management Department, Don State Technical University (RF, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1) (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5196-5975, kaf-qm@donstu.ru

Nurutdinova Inna Nikolaevna, associate professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University (RF, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand. Sci. (Phys.-Math.), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3375-1295, nurut.inna@yandex.ru